

Моделирование затрат мощности в процессе шнекового бурения

Казаченко Г. В., Нагорский А.В., Басалай Г.А.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Шнековое бурение является самым производительным видом вращательного бурения мелких скважин глубиной до 50, иногда до 80 м, и диаметром от 60 до 600-800 мм в породах не выше VI категории по 12-бальной шкале буримости (мерзлые плотные глины, галечники, связные песчано-глинистые породы с ледяными прослойками). Этот вид бурения широко применяется для бурения взрывных скважин при сейсморазведке и открытой добыче полезных ископаемых, при инженерно- и гидрогеологических исследованиях, геологической съемке, поисках и картировании, при разведке полезных ископаемых, для бурения строительных скважин и эксплуатационных скважин на воду [1, 2]. Достоинством шнекового бурения, или как его иногда называют “бурения всухую”, является отсутствие необходимости использования промывочной буровой жидкости, обычно применяемой для выноса продуктов бурения из скважины. В связи с этим метод успешно применяется при бурении в безводных районах, в мерзлых породах и в зимнее время. Процесс шнекового бурения включает в себя разрушение породы на забое скважины путем ее взрыхления или резания буровым долотом и одновременное транспортирование продуктов разрушения из скважины шнековым буровым ставом. Буровой став, помимо транспортирования разрыхленной породы к устью скважины, передает от бурового станка к долоту крутящий момент и осевое усилие, необходимые для разрушения породы на забое с определенной механической скоростью проходки скважины. Схема передвижения столба разрыхленной породы в скважине снизу вверх аналогична схеме передвижения гайки в резьбовой паре “винт-гайка”, удерживаемой внешними силами от проворачивания. В результате этого столб породы, проскальзывая относительно вращающейся винтовой поверхности шнека, поднимается ею в осевом направлении вверх к устью скважины. Эффект транспортирования породы винтовым шнеком проявляется только при скорости вращения буровой колонны большем некоторого критического значения, величина которого за-

висит от радиуса и угла подъема направляющей винтовой линии, коэффициентов трения породы о стенку скважины и о винтовую поверхность шнека [2]. Необходимым условием выхода буровой установки в установившийся режим бурения, при котором весь объем выбуренной породы может стабильно успешно транспортироваться шнеком из скважины, является балансовое соответствие производительности шнекового транспортера и производительности долота по объему разрушенной породы с учетом ее разрыхления [3]. При этом производительность шнекового транспортера может быть больше или, в крайнем случае, равна производительности породоразрушающего инструмента. В случае несоответствия транспортных возможностей шнека производительности долота, как это известно из практики бурения, происходит уплотнение породы в межвитковом пространстве и заштыбовка породой шнекового транспортера в виде, так называемых, “буровых сальников” [2]. Ликвидация данного вида осложнения в практическом бурении осуществляется подъемом бурильной колонны над забоем скважины и ее “расхаживанием”, т.е. вращением на максимальных оборотах с целью выклинивания центробежными силами уплотненной породы из шнека.

Выход буровой установки в установившийся режим при выбранных режимных параметрах теоретически возможен только при условии, что затраты мощности на выполнение всех операций проходки скважины не превышают установленную мощность приводов буровой установки. Фактически же, в связи с отсутствием у оператора установки достоверной информации о соблюдении материального баланса в рабочем процессе, бурение является не непрерывным, а прерывистым. Это обусловлено тем, что шнек время от времени приходится освобождать от уплотнившейся в его витках породы. Многократные попытки оператора вывести буровую установку в установившийся режим бурения, сопровождаемые расхаживанием шнекового транспортера с целью освобождения его от уплотнившейся породы в виде “сальников”, приводит к непроизводительным потерям времени и перерасходу энергии, что в итоге снижает общую механическую скорость проходки и коэффициент полезного действия буровой установки в целом.

Из приведенного обзора видна проблема оптимального выбора режимных параметров шнекового бурения, для решение которой

требуется аналитическое исследование его рабочего процесса. Конечной же целью исследования является определение рациональных соотношений между конструктивными и режимными параметрами бурового оборудования, использование которых, на наш взгляд, должно существенно увеличить его производительность при шнековом бурении.

Математическая модель рабочего процесса в аналитическом исследовании должна отвечать условию одновременного соблюдения двух выше указанных балансовых соотношений. Суммарные затраты мощности на привод бурильной колонны в установившемся режиме шнекового бурения, в процессе которого предполагается материальный баланс между выбуренным долотом и удаляемым шнеком из скважины объемом породы, можно представить в виде суммы трех ее составляющих:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 , \quad (1)$$

где N_1 – затраты мощности на разрушение породы долотом; N_2 – затраты мощности на вынос породы из скважины; N_3 – затраты мощности на осевую подачу долота на забой. Первая составляющая затрат мощности может быть определена по выражению:

$$N_1 = c_1 \cdot \left(v_n \frac{2 \cdot \pi}{\omega \cdot z} \right)^{c_2} \cdot \pi \cdot R_c^2 \cdot v_n \quad (2)$$

где v_n – скорость осевой подачи бурильной колонны; ω – угловая скорость вращения долота; z – число его режущих лопастей; c_1 и c_2 – параметры, зависящие от свойств разрабатываемой породы и качества резцов.

Вторая составляющая затрат мощности может быть определена:

$$N_2 = M_{mp} \cdot \omega , \quad (3)$$

где $M_{mp} = \sum_1^n M_{mpi}$ – суммарный момент трения транспортирующей части бурильной колонны о породу; M_{mpi} – момент силы трения i -го витка шнека о породу; $n = H/h_g$ – число витков шнека участвующих в транспортировании породы; H – текущее значение глубины

ны скважины; h_6 – шаг направляющей винтовой линии шнека.

Значения момента M_{mpi} изменяются по глубине скважины в связи с изменением физических свойств породы. В общем случае момент M_{mpi} может определяться по формуле

$$M_{mpi} \cdot (h_i) = \frac{2\pi}{3} f_i (p_{vi} + p_{ni}) (R_2^3 - R_1^3) + 2 \cdot \pi \cdot f_i \cdot p_{li} \cdot h_6 \cdot R_1^2, \quad (4)$$

где p_{vi} , p_{ni} , p_{li} – давление воспринимаемое поверхностями одного витка породы соответственно со стороны верхней и нижней винтовых поверхностей лопасти и цилиндрической поверхности става шнека; R_1 – радиус наружной поверхности става шнека; R_2 – больший из радиусов лопасти шнека; f_i – текущее значение коэффициента трения породы о шнек.

Затраты мощности на осевую подачу долота на забой

$$N_3 = P_{oc} \cdot v_n, \quad (5)$$

где P_{oc} – осевое усилие бурового инструмента, необходимое для обеспечения максимально допустимой скорости подачи v_n инструмента на забой.

Это усилие находится из условия равновесия инструмента в вертикальной плоскости

$$P_{oc} = P_n + T_z - (m_u + m_n) \cdot g, \quad (6)$$

где P_n – сопротивление подаче долота на забое скважины; T_z – вертикальная составляющая силы трения породы о стенки скважины; m_u – масса буровой колонны; m_n – текущая масса породы в шнеке.

Осевое усилие подачи можно определить через эквивалентную силу резания и радиус ее приложения [4, 5]

$$P_n = k_n \cdot \frac{2 \cdot e \cdot Q}{\omega \cdot \sqrt{R_2^2 - R_1^2}}, \quad (7)$$

где k_n – коэффициент пропорциональности; e – удельные затраты мощности на единицу объема разбуренной породы; Q – объемная

производительность долота по разбуренной породе.

Вертикальная составляющая силы трения породы о стенки скважины

$$\begin{aligned} T_z &= f_2 \cdot p_2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot h_i \cdot \sin \gamma = \\ &= 2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot p_2 \cdot R_2 \cdot h_i \frac{\varphi \cdot h_6}{\sqrt{2 \cdot \pi (1 - \varphi)^2 + \varphi^2 \cdot h_6^2}}, \end{aligned} \quad (8)$$

где f_2 – коэффициент трения породы о стенку скважины; φ – коэффициент циркуляции породы; γ – угол наклона скорости скольжения породы.

Сформированные функциональные зависимости по определению затрат мощности в шнековом бурении дают возможность находить для установившегося режима шнекового бурения энергетические, силовые и кинематические параметры рабочего процесса в зависимости от конструктивных и режимных параметров бурового оборудования и физико-механических свойств породы. Основываясь на полученных зависимостях можно разрабатывать методики и алгоритмы расчета оптимальных режимов процесса шнекового бурения. При формировании математической модели рабочего процесса шнекового бурения дополнительно должны быть учтены ограничения, вытекающие из условия соблюдения материального баланса по производительности долота и транспортирующего шнека.

Литература:

1. Шамшев Ф.А. Основы разведочного бурения / Ф.А. Шамшев.- Л.: Недра, 1971. – 196 с.
2. Кардыш В.Г. Бурение неглубоких скважин / В.Г. Кардыш, Б.В. Мурзаков, А.С. Окмянский. – М.: Недра, 1971. – 240 с.
3. Башкатов Д.Н. Вращательное шнековое бурение геологоразведочных скважин / Д.Н. Башкатов, Ю.А. Олоновский.- М.: Недра, 1968. – 192 с.
4. Солод В.И. Горные машины и автоматизированные комплексы / В.И. Солод, В.И. Зайков, К.М. Первов.- М.: Недра, 1981.- 503 с.
5. Казаченко Г.В. Число резцов в линии резания и неравномерность силы резания / Г.В. Казаченко // Горная механика.- 2007. №3. с. 45- 50.